

氏名 永 山 則 之

授与した学位 博 士

専攻分野の名称 工 学

学位授与番号 博乙第3834号

学位授与の日付 平成15年 3月25日

学位授与の要件 博士の学位論文提出者

(学位規則第4条第2項該当)

学位論文の題目 不均質材料の剛塑性変形解析

論文審査委員 教授 阿部 武治 教授 飛田 守孝 教授 鳥居太始之

学位論文内容の要旨

実用の金属材料の多くはその目的や用途によって何らかの形で複数以上の相からなる混合組織を有しているため、このような内部に強度差をもつ材料の微視的変形挙動の解析を行うことは、材料設計の基礎としても重要であると考えられる。本研究では、不均質材料の塑性変形挙動が材料の形状比、不均質領域の体積率あるいは不均質の程度などによってどのような影響を受けるかを剛塑性有限要素法を用いて調べている。すなわち、不均質な材料として、母相中に変形抵抗の異なる介在物を含む場合、結晶のすべりを降伏関数によりモデル化し母相と介在物ですべりの程度が異なる場合、結晶学的方位の異なる結晶が分布している場合などを取り上げている。

本論文では、まず本研究の目的、並びに不均質材料に関する過去の研究者の研究成果の概要ならびに、剛塑性有限要素法の定式化を行う上で必要となる塑性力学の基礎や剛塑性有限要素法についての数学的理論について述べている。特に、エネルギー原理の基礎となる汎関数、塑性変形を扱う上で必要となる非線形方程式の線形化について述べている。

続いて、剛塑性体に対する基礎式と計算機シミュレーションを用いて、介在物を含む材料や多結晶体の問題に応用した例について述べている。はじめに、母相中に変形抵抗の異なる介在物を含む場合の解析では、母相中に楕円形介在物が規則的に配列している材料に1軸引張り負荷を加える場合を想定し、塑性変形挙動を平面ひずみ問題・軸対称問題のそれぞれについて解析した。また、母相と介在物の間に境界層が存在する場合についても解析を行った。境界でのすべりを考慮するために、介在物と母相の間に幅の薄い要素を取り入れ、この部分の降伏応力を介在物および母相より小さくすることで、境界におけるすべりを表すことにした。1軸引張り負荷を加える場合の平面ひずみ問題と、平面応力下で様々な2軸応力を負荷させた場合とについて解析した。さらに、母相中に3次的に楕円体介在物が配列している材料に1軸引張り負荷を加える場合の塑性変形挙動についても解析を行い、平面ひずみ問題・軸対称問題との比較を行っている。こうした解析は、粒子分散形強化金属や繊維強化金属、ポリマーブレンドなどの複合材料の変形挙動に関する基礎的な研究としても重要と考えられる。

次に、結晶のすべりを降伏関数によりモデル化した解析では、材料のすべりを表わす降伏関数として2次の異方性降伏関数を用いた。母相中にすべり変形する介在物が含まれる材料と、すべり変形する母相中にそのすべり変形を阻止する介在物が含まれる材料について、平面ひずみ状態を仮定して1軸引張り負荷条件下での変形挙動の解析を行った。

最後に、結晶学的方位の異なる結晶が分布している場合の解析では、結晶のすべりに対する構成式による結晶塑性解析の手法を取り入れている。また、わずかの圧縮性を有する構成式を剛塑性有限要素法に導入して解析を容易にし、異なる結晶方位を持つ材料の塑性変形挙動を3次的に解析する手法を提案し、計算例を示している。これらは、多結晶金属の変形挙動を解明する上で有用な示唆を与えると考えられる。

実用の金属材料の多くは多結晶体であり、またその目的や用途によって何らかの形で複数以上の相からなる混合組織を有しているので、このような内部に強度差をもつ材料の微視的変形挙動の解析を行うことは、微視的な材料設計の基礎としても重要である。

本論文では、まず母相中に変形抵抗の異なる介在物を含む場合の解析として、母相中に楕円形介在物が規則的に配列している材料に1軸引張り負荷を加える場合を想定し、塑性変形挙動を平面ひずみ問題・軸対称問題のそれぞれについて解析した。また、母相と介在物の間に境界層が存在する場合についても解析を行った。境界でのすべりを考慮するために、介在物と母相の間に幅の薄い要素を取り入れ、この部分の降伏応力を介在物および母相より小さくすることで、境界におけるすべりを表し、1軸引張り負荷を加える場合の平面ひずみ問題と、平面応力下で様々な2軸応力を負荷させた場合とについて解析した。さらに、母相中に3次的に楕円体介在物が配列している材料の塑性変形挙動についても解析を行い、平面問題・軸対称問題との比較を行っている。これらは、粒子分散型強化金属や繊維強化金属、ポリマ

次に、結晶のすべりを降伏関数によりモデル化した解析では、材料のすべりを表わす降伏関数として、2次の異方性降伏関数を用いた。母相中にすべり変形する介在物が含まれる材料と、すべり変形する母相中にそのすべり変形を阻止する介在物が含まれる材料について解析を行った。最後に、結晶学的方位の異なる結晶が分布している場合の解析では、結晶のすべりの構成式を用いた結晶塑性解析の手法を剛塑性有限要素法に取り入れ、異なる結晶方位を持つ材料の塑性変形挙動を3次的に解析した。また、わずかの圧縮性を有する構成式導入し、解析を容易にする手法も提案している。これらは、多結晶金属の変形挙動を解明する上で重要な示唆を与えるものである。

以上のように、本研究では、不均質材料の塑性変形挙動が材料の形状比、不均質領域の体積率あるいは不均質の程度などによってどのような影響を受けるかについて、剛塑性有限要素法を基本とする種々の解析手法を提案し、調べている。すなわち、不均質な材料として、母相中に変形抵抗の異なる介在物を含む場合、結晶のすべりを降伏関数によりモデル化し母相と介在物ですべりの程度が異なる場合、結晶学的方位の異なる結晶が分布している場合などを取り上げている。これらの解析手法および計算結果は不均質な材料の設計等の指針としても重要であり、有用であると期待される。よって本論文は博士の学位に十分値するものと認められる。